

Rec'd PCT/PTC 07 APR 2005

PCT/JP03/14125

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

05.11.03

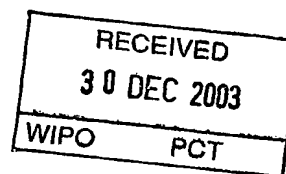
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2002年11月 6日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2002-322247  
[ST. 10/C]: [JP2002-322247]

出 願 人  
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

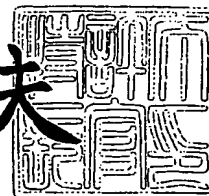


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年12月11日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3102482

【書類名】 特許願

【整理番号】 2032440330

【提出日】 平成14年11月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 26/06

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式  
                                会社内

    【氏名】 虫鹿 由浩

【特許出願人】

    【識別番号】 000005821

    【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100097445

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

    【識別番号】 100103355

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

    【識別番号】 100109667

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 011305

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1



【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 変位検出機能を備えたマイクロアクチュエータ、およびマイクロアクチュエータを備えた可変形ミラー

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、

前記基板上に設けた固定電極と、前記固定電極に対向する位置において前記基板に変位可能に支持された可動電極とを備えた駆動素子と、

前記固定電極と可動電極との間に駆動信号を与えて前記駆動素子を複数段階に変位させる駆動手段と、

前記駆動信号に変位検出信号を重畳し、前記固定電極と前記可動電極との間の静電容量の変化によって前記駆動素子の変位を検出する変位検出手段とを備えたマイクロアクチュエータ。

【請求項 2】 前記駆動素子の目標変位を設定する目標変位設定手段と、前記目標変位設定手段の出力を前記駆動信号に変換するための変換データを記憶する変換手段と、前記変位検出手段の出力に基づき前記変換データを作成する変換データ作成手段とを備えた請求項 1 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 3】 電源起動時に前記変換データの作成を行う請求項 2 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 4】 温度検出手段を備え、前記温度検出手段が所定値以上の温度変化を検出した場合に前記変換データの作成を行う請求項 2 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 5】 前記駆動信号は前記駆動素子の 1 次共振周波数以下の周波数を持つ低周波信号であり、前記変位検出信号は前記駆動素子の 1 次共振周波数以上の周波数を持つ高周波信号である請求項 1 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 6】 前記駆動信号の電圧値を大きく設定した場合に、前記変位検出手段が前記変位検出信号の振幅を小さく設定する請求項 5 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 7】 基板と、前記基板上に変位可能に設けた複数の駆動素子と、前記複数の駆動素子の各々に駆動信号を与えて複数段階に変位させる駆動手段と、

前記駆動素子の変位を検出する変位検出手段と、前記変位検出手段と前記複数の駆動素子とを選択的に接続する切り替え手段とを備え、前記切り替え手段が前記変位検出手段の変位検出対象を切り替えながら前記複数の駆動素子の変位を検出するマイクロアクチュエータ。

【請求項 8】 前記駆動素子の目標変位を設定する目標変位設定手段と、前記目標変位設定手段の出力を前記駆動信号に変換するための変換データを記憶する変換手段と、前記切り替え手段が前記変位検出手段の変位検出対象を切り替えながら前記複数の駆動素子の変位を検出した出力に基づき前記変換データを作成する変換データ作成手段とを備えた請求項 7 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 9】 変位検出手段の出力が所定の範囲を超えている場合に、駆動素子もしくは変位検出手段の異常を判別する判別手段を備えた請求項 7 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 10】 判別手段が異常と判別した場合に変換データの更新を禁止する請求項 8 または 9 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 11】 前記駆動素子の目標変位を設定する目標変位設定手段と、前記目標変位設定手段の出力と前記変位検出手段の出力との誤差を抑圧するように前記駆動素子の駆動信号を制御する閉ループ制御手段と、前記閉ループ制御手段が出力する駆動信号をホールドするホールド手段とを備え、前記切り替え手段が前記駆動素子の接続先を前記閉ループ制御手段と前記ホールド手段との間で切り替える請求項 7 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 12】 前記切り替え手段が、前記複数の駆動素子のうち少なくとも 2 つ以上を同時に前記変位検出手段に接続する請求項 7 記載のマイクロアクチュエータ。


【請求項 13】 前記駆動素子の少なくとも一部に光反射領域を備えた請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の可変形ミラー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、変位検出機能を備えたマイクロアクチュエータ、および当該マイク



ロアクチュエータを備えた可変形ミラー (deformable mirror) に関する。

#### 【0002】

##### 【従来の技術】

半導体プロセスを用いたMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術により、様々なマイクロアクチュエータが開発されている。MEMS技術によれば多数のアクチュエータを同時に一括形成できるため、その特徴を活かした応用が図られており、微小なミラーを多数形成した可変形ミラーもその1つである。可変形ミラーは、光の波面収差をアクティブに補正する補償光学装置や、ディスプレイや光通信などの各種装置に応用されている。

#### 【0003】

可変形ミラーの変位量の制御に関しては従来、下記の2つの方法が知られている。

#### 【0004】

1つは開ループ制御であり、on位置、off位置の2点でミラー変位位置を切り替える2値制御もこれに含まれるが、それ以外にも、多段階の駆動電圧を与えてミラー変位量を多値制御するものがある (例えば非特許文献1参照)。同従来例には、予め製造工程において駆動電圧と可変形ミラーの変位量との関係を外部の変位計を用いて実験的に数点測定し、これを補間して変換テーブルを作成して、可変形ミラー毎の特性のばらつきを補正する技術が開示されている。

#### 【0005】

もう1つは外部センサを用いた閉ループ制御であり、例えば補償光学装置においては波面センサを用いて検出した誤差信号から可変形ミラーの制御信号を作成して閉ループ制御を行っている (例えば非特許文献2参照)。

#### 【0006】

また、マイクロセンサの分野では下記の技術が知られている。圧力センサにおいては、外部圧力による隔膜 (diaphragm) の変形を静電容量変化で検出し、さらに外部圧力を打ち消すように別の電極で静電力を発生して隔膜の変形

を実質的に零になるように制御を行い、その静電力の大きさから外部圧力を求める平衡力 (Force Balanced) 型のものがある (例えば非特許文献 3 参照)。角速度センサにおいては、外部からの角速度によって発生するコリオリ力で可動子が変位する量を静電容量変化で検出するものがある (例えば非特許文献 4 参照)。

#### 【0007】

##### 【非特許文献 1】

R.W. Corrigan, D.T. Amm and C.S. Gudeman " Grating Light Valve™ Technology for Projection Displays" , Presented at the International Display Workshop, Kobe Japan, 9 Dec 1998, Paper Number LAD5-1, [online]、Silicon Light Machines 社 <URL: <http://www.siliconlight.com/htmlpgs/glvtechframes/glvmainframeset.html>>

##### 【非特許文献 2】

J.A. Perreault, T.G. Bifano et al., " Adaptive optic correction using microelectromechanical deformable mirrors " , Optical Engineering, Vol. 41, No.3, pp.561-566 (March 2002)

##### 【非特許文献 3】

B.P. Gogoi, C.C. Wang, C.H. Mastrangelo, " Force Balanced Micromachined Pressure Sensors" , IEEE transactions on electron devices, Vol. 48, No.8, pp.1575-1584 (August 2001)

##### 【非特許文献 4】

T. Juneau, A.P. Pisano, J.H. Smith, " Dual Axis Operation of a Micro machined Rate Gyroscope" , Transducers' 97, 1997 International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Chicago, June 16-19, pp.883-886

#### 【0008】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のようなマイクロアクチュエータには、以下のような課題があった。

#### 【0009】



製造工程で変換テーブルを作成して開ループ制御を行うものは、変換テーブルのデータ採取が煩雑で、かつ径時的あるいは環境変化等に対する対応に限界があった。従来の外部からの変位測定方法（例えば微小な光スポットを可動部に当ててその変位を検出するような方法）では光スポットの位置合わせ等の作業が多く、特に多数のアクチュエータをアレイ状に構成している場合には、可動部毎に駆動電圧と変位との関係を測定するのが極めて煩雑であった。また、測定できるのは製造工程での初期特性のみであり、実際に装置に組み込まれた状態で可動部の変位量をモニターすることはできなかった。このため、径時変化や温度などの環境変化に伴うアクチュエータ特性の変化があっても、これに対応した補正ができなかった。

#### 【0 0 1 0】

波面センサ等の外部センサを用いて閉ループ制御を行うものは、まず第1の課題として、制御構成が高価であった。安定な閉ループ制御を行うためには、波面センサの検出点数は可変形ミラーのアクチュエータ数よりも多くする必要がある、例えば Shack-Hartmann 型波面センサでは一般的に検出点数はアクチュエータ数の約2倍以上が必要とされている。このため、閉ループ制御のためには比較的高分解能なセンサが必要で、また、波面センサの各検出点と可変ミラーの各駆動点とを精密に対応させる位置調整も必要であった。さらに、複数の検出信号から波面再構成などの演算を行って各駆動点の制御信号を生成する制御回路も比較的高精度で大規模なものを必要とした。また、第2の課題としては、波面センサによる光量損失が大きい点にあった。波面センサは波面の補正対象である光束の一部を使って波面を検出しているので、これは光量の損失要因である。閉ループ制御のために波面の検出点数を増やし、各検出点において一定のセンサ感度（S/N）を確保しようとする、波面センサによる大きな光量損失が発生していた。

#### 【0 0 1 1】

また、圧力センサや角速度センサ等のマイクロセンサとは、技術分野の違いだけでなく、下記のような構成上の特徴とそれに伴う課題があった。まず第1に、マイクロセンサは1つの可動子に対して変位検出と制御を行っているだけである



が、可変形ミラーのように多数のアクチュエータを同時に駆動することが必要な場合には、各アクチュエータに対して閉ループ制御を行うと、このための回路規模が極めて大きくなるという課題があった。すなわち、変位検出のための検出信号発生器、増幅器、A/D変換器、制御回路などの各回路がアクチュエータ数と同数必要であり、特にアクチュエータ数が多数の場合には回路規模が大きくなってチップ全体のコストが高くなるという課題があった。第2の課題としては、アクチュエータの自己駆動力で目標変位量をとらせるための構成は開示されていなかった。すなわち、圧力センサも角速度センサも外界から与えられた力による可動部の変位を測定してこれを外力に変換する構成は備えているが、アクチュエータ自身に駆動力を発生させつつこの変位を検出し多段階の変位量をとらせる構成は備えていない。例えば、平衡力型の圧力センサでは隔壁を変位させないように制御するものであり、角速度センサも変位の検出方向に駆動構成を備えていなかった。

#### 【0012】

本発明は上記課題を解決し、簡易な構成で、径時変化あるいは環境変化に対する特性ばらつきを補正して信頼性の高い位置制御を行うマイクロアクチュエータおよび可変形ミラーを提供することを目的とする。

#### 【0013】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明のマイクロアクチュエータは、基板と、前記基板上に設けた固定電極と前記固定電極に対向する位置において前記基板に変位可能に支持された可動電極とを備えた駆動素子と、前記固定電極と可動電極との間に駆動信号を与えて前記駆動素子を複数段階に変位させる駆動手段と、前記駆動信号に変位検出信号を重畳し、前記固定電極と前記可動電極との間の静電容量の変化によって前記駆動素子の変位を検出する変位検出手段とを備える。

#### 【0014】

ある好ましい実施形態において、前記駆動素子の目標変位を設定する目標変位設定手段と、前記目標変位設定手段の出力を前記駆動信号に変換するための変換データを記憶する変換手段と、前記変位検出手段の出力に基づき前記変換データ

を作成する変換データ作成手段とを備える。

【0015】

ある好ましい実施形態において、電源起動時に前記変換データの作成を行う。

【0016】

ある好ましい実施形態において、温度検出手段を備え、前記温度検出手段が所定値以上の温度変化を検出した場合に前記変換データの作成を行う。

【0017】

ある好ましい実施形態において、前記駆動信号は前記駆動素子の1次共振周波数以下の周波数を持つ低周波信号であり、前記変位検出信号は前記駆動素子の1次共振周波数以上の周波数を持つ高周波信号である。

【0018】

ある好ましい実施形態において、前記駆動信号の電圧値を大きく設定した場合に、前記変位検出手段が前記変位検出信号の振幅を小さく設定する。

【0019】

また、本発明のマイクロアクチュエータは、基板と、前記基板上に変位可能に設けた複数の駆動素子と、前記複数の駆動素子の各々に駆動信号を与えて複数段階に変位させる駆動手段と、前記駆動素子の変位を検出する変位検出手段と、前記変位検出手段と前記複数の駆動素子とを選択的に接続する切り替え手段とを備え、前記切り替え手段が前記変位検出手段の変位検出対象を切り替えながら前記複数の駆動素子の変位を検出する。

【0020】

ある好ましい実施形態において、前記駆動素子の目標変位を設定する目標変位設定手段と、前記目標変位設定手段の出力を前記駆動信号に変換するための変換データを記憶する変換手段と、前記切り替え手段が前記変位検出手段の変位検出対象を切り替えながら前記複数の駆動素子の変位を検出した出力に基づき前記変換データを作成する変換データ作成手段とを備える。

【0021】

ある好ましい実施形態において、変位検出手段の出力が所定の範囲を超えている場合に、駆動素子もしくは変位検出手段の異常を判別する判別手段を備える。

**【 0 0 2 2 】**

ある好ましい実施形態において、判別手段が異常と判別した場合に変換データの更新を禁止する。

**【 0 0 2 3 】**

ある好ましい実施形態において、前記駆動素子の目標変位を設定する目標変位設定手段と、前記目標変位設定手段の出力と前記変位検出手段の出力との誤差を抑圧するように前記駆動素子の駆動信号を制御する閉ループ制御手段と、前記閉ループ制御手段が出力する駆動信号をホールドするホールド手段とを備え、前記切り替え手段が前記駆動素子の接続先を前記閉ループ制御手段と前記ホールド手段との間で切り替える。

**【 0 0 2 4 】**

ある好ましい実施形態において、前記切り替え手段が、前記複数の駆動素子のうち少なくとも 2 つ以上を同時に前記変位検出手段に接続する。

**【 0 0 2 5 】**

本発明の可変形ミラーは、前記マイクロアクチュエータの前記駆動素子の少なくとも一部に光反射領域を備える。

**【 0 0 2 6 】****【発明の実施の形態】**

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。

**【 0 0 2 7 】****(実施の形態 1)**

図 1 ～ 3 を参照しながら、本発明のマイクロアクチュエータの実施形態を説明する。本実施形態のマイクロアクチュエータは回動型の静電アクチュエータであり、例えば半導体製造プロセス技術を用いて作成され得て、ここでは光の反射方向を多段階に制御する可変形ミラーに適用されている。

**【 0 0 2 8 】**

まず、図 1 を参照する。図 1 は本実施形態におけるマイクロアクチュエータの概略構成図である。図 1 において、シリコンウェハである基板 1 上には駆動回路 2 が設けられ、その上に 3 0  $\mu$  m 以上の厚さで絶縁層 3 が設けられている。絶縁

層 3 上には  $n$  個 ( $n$  は 2 以上の整数) の駆動素子  $A_1 \sim A_n$  からなる駆動部 4 が構成されている。駆動部 4 の駆動素子  $A_1 \sim A_n$  は互いに同一の構成を有しており、ここでは  $i$  ( $i$  は 1 以上  $n$  以下の整数) 番目の駆動素子  $A_i$  を例にとって説明する。駆動素子  $A_i$  は 2 つの固定電極  $E_{Li}$  と  $E_{Ri}$  と、これらの固定電極に対向する位置に設けられた可動電極  $Y_i$  と、この可動電極  $Y_i$  を回動自在に支持する一対の導電性のポスト  $P_i$  とからなる。駆動素子  $A_i$  はポスト  $P_i$  を中心にして左右対称の形状をしており、可動電極  $Y_i$  の上面は光を反射する反射ミラーとなっている。固定電極  $E_{Li}$  もしくは  $E_{Ri}$  と可動電極  $Y_i$  との間で電位差を与えると、この静電力によって可動電極  $Y_i$  は左もしくは右回りの回動変位を行い、反射光の向きを変える。固定電極  $E_{Li}$  と可動電極  $Y_i$  とが形成するコンデンサの容量を  $C_{Li}$ 、固定電極  $E_{Ri}$  と可動電極  $Y_i$  とが形成するコンデンサの容量を  $C_{Ri}$  とすると、可動電極  $Y_i$  が水平姿勢にある初期状態ではほぼ  $C_{Li} = C_{Ri}$  であり、可動電極  $Y_i$  の回動変位に応じて容量  $C_{Li}$ 、 $C_{Ri}$  がそれぞれ逆方向に増減するため、可動電極  $Y_i$  の変位検出はこの  $C_{Li}$ 、 $C_{Ri}$  の静電容量変化を利用する。端子  $T_{Li}$ 、 $T_{Ri}$ 、 $T_{Pi}$  はそれぞれ固定電極  $E_{Li}$ 、 $E_{Ri}$ 、ポスト  $P_i$  に接続しており、絶縁層 3 を貫通したビアとして駆動回路 2 と接続される。

#### 【0029】

次に図 2 を参照して、駆動回路 2 の詳細を説明する。図 2 は本実施形態におけるマイクロアクチュエータの駆動回路の概略構成図である。駆動回路 2 は全体を制御する制御部 5、各駆動素子  $A_i$  の変位を検出する変位検出部 6、変位検出部 6 の測定対象となる駆動素子を選択する切り替え部 7 を備えている。

#### 【0030】

制御部 5 は I/F 部 10、目標変位設定部 11、変換部 12、電圧指令部 13、変位検出制御部 14、変換データ作成部 15 とを備えている。

#### 【0031】

I/F 部 10 は、制御に関わる外部とのコマンドおよびデータをやりとりする。

#### 【0032】

目標変位設定部 11 は、I/F 部 10 からの出力に基づき、駆動素子  $A_1 \sim A_n$

n の各目標変位を決定する。

#### 【0033】

変換部 12 は、駆動素子 A1 ~ An の各目標変位を、駆動電圧に関わる目標データに変換する。変換部 12 には、各駆動素子 A1 ~ An の駆動電圧と変位との対応関係が変換テーブルとして格納され、各駆動素子 A1 ~ An の特性ばらつきはここで補正される。

#### 【0034】

電圧指令部 13 は、各駆動素子 A1 ~ An の制御を行う際には、変換部 12 の出力に基づき駆動素子 A1 ~ An のそれぞれの固定電極用端子 TL1 ~ TLn、TR1 ~ TRn に与える駆動電圧 VL1 ~ VLn、VR1 ~ VRn に対応する電圧指令値を出力する。また電圧指令部 13 は、駆動素子 Ai の変位を検出する際には、固定電極用端子 TLi、TRi に与える駆動電圧の DC 成分 VL、VR の差動分 VL - VR の値をある所定のタイミングで変化させていく。このやり方の 1 例として、ここでは VL もしくは VR の一方を 0 V に設定しておき、他方を 0 V から所定電圧単位で増やしていく方法をとる。電圧指令部 13 が発生する VL、VR の制御値およびその変化のタイミングに関しては変位検出制御部 14 の出力に基づいて制御が行われる。

#### 【0035】

変位検出制御部 14 は、電圧指令部 13 に VL、VR の制御値を変化させるための指令を行うと同時に変位検出部 6 のトランジスタ 26 を導通させ、これを所定時間保持して、検出信号 Vout のオフセットを除去する。これにより、VL、VR の制御値を変化させることにより発生する検出信号 Vout の変動をキャンセルすることができる。

#### 【0036】

変換データ作成部 15 は、電圧指令部 13 が出力する VL、VR の制御値と、変位検出部 6 が出力する駆動素子 Ai の変位の検出結果とを入力し、駆動電圧と変位との対応関係を作成する。これらの関係は近似曲線にフィットさせることで測定誤差を除去し、補間された形で変換部 12 の変換テーブルに格納される。

#### 【0037】

変位検出部 6 は、第 1 の駆動信号発生部 20、第 1 の変位検出信号発生部 21、第 2 の駆動信号発生部 22、第 2 の変位検出信号発生部 23、オペアンプ 24、コンデンサ 25、トランジスタ 26、増幅器 27、AD 変換器 28 とを備える。

#### 【0038】

第 1 の駆動信号発生部 20 は、電圧指令部 13 からの指令値に基づき、DC 電圧  $V_L$  を発生する。第 1 の変位検出信号発生部 21 は振幅  $V_A$ 、周波数  $f$  の AC 電圧を発生する。周波数  $f$  は  $100\text{ kHz} \sim 1\text{ MHz}$  の範囲内の所定の値をとり、これは駆動素子  $A_i$  の 1 次共振周波数  $f_o$  ( $1 \sim 10\text{ kHz}$ ) よりも大きな値とする。第 1 の駆動信号発生部 20 と第 1 の変位検出信号発生部 21 とは直列に接続されており、両者の和として第 1 の出力電圧  $V_L + V_A \sin(2\pi ft)$  が得られる。

#### 【0039】

第 2 の駆動信号発生部 22 は、やはり電圧指令部 13 からの指令値に基づき、DC 電圧  $V_R$  を発生する。第 2 の変位検出信号発生部 23 は第 1 の変位検出信号発生部 21 と同じ振幅  $V_A$ 、周波数  $f$  で位相が  $180^\circ$  異なる AC 電圧を発生する。第 2 の駆動信号発生部 22 と第 2 の変位検出信号発生部 23 とは直列に接続されており、両者の和として第 2 の出力電圧  $V_R - V_A \sin(2\pi ft)$  が得られる。

#### 【0040】

切り替え部 7 によって駆動素子  $A_i$  との接続が選択された場合には、第 1 および第 2 の出力電圧  $V_L + V_A \sin(2\pi ft)$ 、 $V_R - V_A \sin(2\pi ft)$  はそれぞれ端子  $T_{Li}$ 、 $T_{Ri}$  に入力され、端子  $T_{Pi}$  からの出力がオペアンプ 24 に入力される。オペアンプ 24 と容量  $C_f$  のコンデンサ 25 とで形成された回路の出力  $V_{out}$  は (数 1) で表され、右辺の第 2 項は駆動電圧  $V_L$ 、 $V_R$  の変化  $\Delta V_L$ 、 $\Delta V_R$  によるオフセットであるため、既述したように検出に先立って MOS トランジスタ 26 を導通させてこれを除去すれば、静電容量の変化  $C_{Ri} - C_{Li}$  を検出するための信号が精度良く得られる。

#### 【0041】

$$V_{out} = ((C_{Ri} - C_{Li}) / C_f) \cdot V_A \sin(2\pi ft) + (C_{Ri} \Delta V_R - C_{Li} \Delta V_L) / C_f \dots \text{(数1)}$$

出力  $V_{out}$  は増幅器 27 で増幅され、AD 変換器 28 でデジタルデータ化されて、変換データ作成部 15 に出力される。

#### 【0042】

切り替え部 7 は、駆動素子  $A_1 \sim A_n$  のそれぞれについて、駆動制御を行う駆動モードと変位検出を行う検出モードとの間で切り替えを行う。図では駆動素子  $A_i$  は検出モードに設定されており、既に説明したように変位検出部 6 と接続されて応答特性が調べられる。また、図では駆動素子  $A_{i+1}$  は駆動モードに設定されており、固定電極用端子  $T_{Li+1}$ 、 $T_{Ri+1}$  はそれぞれ電圧指令部 13 により指令された電圧  $V_{Li+1}$ 、 $V_{Ri+1}$  が印加され、また可動部電極用端子  $T_{Pi+1}$  は接地電位に接続されて、目標位置に駆動される。

#### 【0043】

以上のように構成したマイクロアクチュエータの動作について、図 3 を参照しながら説明する。図 3 は本実施形態におけるマイクロアクチュエータの変換データ作成ルーチンのフローチャートである。

#### 【0044】

装置起動時や、あるいは図示しない温度センサが所定値以上の温度変化を検知したとき、もしくは内蔵するタイマが前回の変換データ更新時から所定時間以上の動作時間をカウントしたとき等に、本実施形態のマイクロアクチュエータは変換部 12 に格納された駆動素子  $A_1 \sim A_n$  の変換テーブルを更新する。

#### 【0045】

まず、 $i = 1$  とし (手順 30)、変位検出を行う駆動素子  $A_i$  として 1 番目の駆動素子  $A_1$  が選択される。切り替え部 7 が駆動素子  $A_i$  を変位検出部 6 に接続する (手順 31)。このとき、 $A_i$  以外の全ての駆動素子は変位検出部 6 との接続を切り離されている。

#### 【0046】

変位検出においては、まず  $V_R$  を 0 V として (手順 32)、 $V_L$  を 0 V から最大電圧  $V_{max}$  まで段階的に増加させ、各電圧における駆動素子  $A_i$  の変位を測定

する。測定された変位データは各  $V_L$  の値と共に変換データ作成部 1 5 に記憶される（手順 3 3）。次に、 $V_L$  を 0 V として（手順 3 4）、 $V_R$  を 0 V から最大電圧  $V_{max}$  まで段階的に増加させ、各電圧における駆動素子  $A_i$  の変位を測定する。測定された変位データは各  $V_R$  の値と共に変換データ作成部 1 5 に記憶される（手順 3 5）。測定が完了すると、変換データ作成部 1 5 は電圧差  $V_L - V_R$  と変位データとを所定の近似関数にフィッティングし、近似関数の各項の係数および相関値を算出する（手順 3 6）。

#### 【0 0 4 7】

この近似関数の各項の係数および相関値には予め正常値と判断される範囲が設定されており、得られたこれらの値がこの正常範囲内にあるか否かを判断する（手順 3 7）。正常範囲内に無い場合には測定結果にエラーがあったと判断する（手順 3 8）。エラー処理の内容は係数および相関値の値によって異なり、わずかに正常範囲から外れている場合は再測定を行い、例えば  $V_L$  や  $V_R$  の電圧値によらず駆動素子がほぼ変位しない場合は駆動素子もしくは変位検出部 6 が故障していると判断してエラー表示を行い、変換テーブルの書き換えを禁止する。

#### 【0 0 4 8】

正常範囲内にある場合には、測定結果を有効と判断して変換テーブルを更新し（手順 3 9）、次の駆動素子の測定に移行する（手順 4 0）。n 番目の駆動素子  $A_n$  の測定が終了すると変換テーブルの作成ルーチンは完了する。

#### 【0 0 4 9】

変換テーブルの作成が完了すると、マイクロアクチュエータはこれを用いた制御動作に移行する。切り替え部 7 は全ての駆動素子  $A_1 \sim A_n$  を、駆動制御を行う駆動モードとする。

#### 【0 0 5 0】

本実施形態での駆動素子の制御は開ループ制御であって、目標変位設定部 1 1 によって各駆動素子  $A_1 \sim A_n$  の目標変位が設定されると、変換部 1 2 によって駆動電圧に関わる目標データに変換され、電圧指令部 1 3 により指令された駆動電圧を与えられて、駆動素子  $A_1 \sim A_n$  は所望の姿勢に制御される。

#### 【0 0 5 1】



以上説明したような本実施形態のマイクロアクチュエータによれば、自己の駆動力で得られた変位量を自己検出する構成を備えているために、外部の変位測定器が不要であり、位置合わせなどのセッティングに関わる煩雑な作業を必要とせず、極めて簡易に個別の駆動素子の特性ばらつきを補正する変換テーブルを作成することができる。

#### 【0052】

また、装置に組み込まれた状態で測定が可能であるため、径時変化や温度などの環境変化に伴う駆動素子特性の変化にも対応することができる。

#### 【0053】

さらに、切り替え部 7 が 1 つの変位検出部 6 を複数の駆動素子に切り替えて巡回させながら変位検出を行っているために、多数の駆動素子を備えたアクチュエータであっても、変位検出のための検出信号発生器、増幅器、A/D変換器などの数を大幅に低減させることができ、回路規模を削減してチップコストを削減することができる。

#### 【0054】

なお、本実施形態では、駆動信号発生部 20 と変位検出信号発生部 21 とを別々に構成して接続した例について説明したが、両者を 1 つの DA 変換器で構成し、電圧指令部 13 からの制御信号を周波数  $f$  で変調して  $V_L + V_A \sin(2\pi ft)$  の出力電圧を得ても良い。また AC 電圧の波形は正弦波でなく、矩形波としてもよい。駆動信号発生部 22 と変位検出信号発生部 23 とについても同様である。このようにすれば、変位検出用の信号発生回路の多くが駆動制御用の回路と共用化され、回路全体の簡素化を図ることができる。

#### 【0055】

また、電圧指令部 13 は DC 電圧成分  $V_L$ 、 $V_R$  のみを可変とした例について説明したが、AC 電圧成分の振幅  $V_A$  を可変にすることもできる。特に電位差  $V_L - V_R$  の絶対値が小さいときには振幅  $V_A$  を大きくし、電位差  $V_L - V_R$  の絶対値が大きいときには振幅  $V_A$  を小さくすれば、以下の 2 つの効果がある。第 1 に、AC 電圧成分による駆動素子の変位への影響を抑えつつ検出感度を大きくすることができる。電位差  $V_L - V_R$  の絶対値が小さいときは、駆動素子  $A_i$  の変位が小さく

静電容量の変化  $C_{Li} - C_{Ri}$  も小さいため、検知信号  $V_{out}$  の振幅は小さく  $S/N$  比が得られにくい一方、AC 電圧成分により駆動素子  $A_i$  に発生する吸引力は固定電極  $E_{Li}$  側と  $E_{Ri}$  側とでは釣り合っただけで相殺されるため、駆動素子の変位への素子の変位が小さい。電位差  $V_L - V_R$  の絶対値が大きいときはこの逆の特性を示す。従って、電位差  $V_L - V_R$  の絶対値が小さいときには振幅  $V_A$  を大きくし、電位差  $V_L - V_R$  の絶対値が大きいときには振幅  $V_A$  を小さくすれば、AC 電圧成分による駆動素子の変位への影響を抑えつつ検出感度を大きくすることができる。第 2 に、同じ電源電圧に対して駆動素子の測定可能な変位のレンジを広くとることができる。駆動素子の測定可能な変位のレンジは DC 電圧の設定レンジで決まり、これは全体の電圧から AC 電圧成分を除いたものとなる。駆動電圧  $V_L$  もしくは  $V_R$  の絶対値が大きいときに振幅  $V_A$  を小さくすることで、同じ電源電圧に対して駆動素子の測定可能な変位のレンジを広げることができる。

#### 【0056】

また、本実施例では変位検出部 6 は 1 チャンネルとして説明したが、変位検出部 6 が複数のチャンネルを備え、全駆動素子  $A_1 \sim A_n$  も複数のブロックに分割し、変位検出部 6 の各チャンネルが各ブロック内を巡回チェックするように構成してもよい。

#### 【0057】

また、本実施例では駆動素子は 1 つずつ変位検出部 6 と接続したが、複数の駆動素子を同時に 1 つの変位検出部 6 と接続しても良い。この場合個々の駆動素子のばらつきが平均化されて全体特性の変化を測る場合には精度の良い測定を行うことができる。温度特性変化などの環境変化に対して全ての駆動素子がおおよそ一定の傾向を持って特性が変化する場合には、こうして得られた全体的な補正データを個別の駆動素子の変換データに加算すればよい。

#### 【0058】

また、本実施例では駆動信号を DC 信号としたが、これに限定されるものではなく、駆動素子に所望の変位を与えうる駆動信号として駆動素子の 1 次共振周波数以下の低周波数の駆動信号を与え、変位検出部 6 により駆動素子の振幅と位相とを測定することにより、駆動素子の応答特性を測定することもできる。また駆

動信号の周波数を駆動素子の 1 次共振周波数付近でシフトさせて共鳴点を探索することで、駆動素子の共振周波数自身を測定することもでき、これによっても精度良く駆動素子の応答特性を測定することができる。変換データ作成部 15 はこれらの応答特性から駆動素子の電圧-変位特性を算出し、変換部 12 に格納して利用することができる。

#### 【0059】

また、本実施の形態では、切り替え部 7 が 1 つの変位検出部 6 を複数の駆動素子に切り替える構成において、駆動素子を静電型駆動素子、変位検出部 6 の変位検出方式を静電容量検出方式として説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば駆動素子に圧電素子を用い、変位検出方式をこの圧電効果を利用したものとしてもよい。

#### 【0060】

(実施の形態 2)

図 4～5 を参照しながら、本発明のマイクロアクチュエータの第 2 の実施形態を説明する。図 4 は本実施形態におけるマイクロアクチュエータの概略構成図である。

#### 【0061】

本実施形態のマイクロアクチュエータは、駆動部 4、変位検出部 6、切り替え部 7、I/F 部 10、目標変位設定部 11、変位検出制御部 14 については実施形態 1 で説明した構成と同一の構成を有している。実施形態 1 と異なる部分は制御部 50 の構成であり、本実施形態では、制御部 50 は変位検出部 6 の出力を用いて駆動素子 A1～An に対し間欠的な閉ループ制御を行う。

#### 【0062】

制御部 50 は電圧指令部 51 を備え、電圧指令部 51 はサーボ制御部 52 と電圧値ホールド部 53 とを備える。

#### 【0063】

サーボ制御部 52 は目標変位設定部 11 と変位検出部 6 との差を誤差信号  $\epsilon$  として入力し、所望の制御特性を持たせるための PID 制御器を備え、この制御出力として電圧値  $V_L$ 、 $V_R$  の指令値を与えて選択された駆動素子 A<sub>i</sub> に対する閉ル

ープ制御を行う。また、サーボ制御部 52 は、誤差信号  $\epsilon$  の値およびその時間微分値が所定値以下になった場合に上記の制御が収束したと判断し、駆動素子  $A_i$  に対する閉ループ制御を終了して開ループ制御に切り替えると共に、次の駆動素子  $A_{i+1}$  に対する閉ループ制御を行う。より詳細には、制御の収束を判断すると、サーボ制御部 52 はその時点における電圧値  $V_L$ 、 $V_R$  の指令値を電圧値ホールド部 53 に出力する。電圧値ホールド部 53 はこの電圧値  $V_L$ 、 $V_R$  の指令値を駆動素子  $A_i$  に対する指令値  $V_{Li}$ 、 $V_{Ri}$  として保持し、次回に再びサーボ制御部 52 から駆動素子  $A_i$  に対する新たな指令値を入力するまでは、この指令値を出力する。切り替え部 7 は駆動素子  $A_i$  の接続先を変位検出部 6 から電圧値ホールド部 53 に切り替え、駆動素子  $A_{i+1}$  の接続先を電圧値ホールド部 53 から変位検出部 6 に切り替える。

#### 【0064】

以上のように構成したマイクロアクチュエータの動作について、図 5 を参照しながら説明する。図 5 は本実施形態におけるマイクロアクチュエータの間欠閉ループ制御ルーチンのフローチャートである。

#### 【0065】

まず、 $i = 1$  とし（手順 60）、閉ループ制御を行う駆動素子  $A_i$  として 1 番目の駆動素子  $A_1$  を選択する。切り替え部 7 が駆動素子  $A_i$  を変位検出部 6 に接続する（手順 61）。このとき、 $A_i$  以外の全ての駆動素子は電圧値ホールド部 53 と接続され、この出力値を基に開ループ制御されている。

#### 【0066】

駆動素子  $A_i$  の制御電圧値  $V_L$ 、 $V_R$  の初期値は電圧値ホールド部 53 に前回保持した  $V_{Li}$ 、 $V_{Ri}$  の値を用いる（手順 62）。変位検出部 6 は駆動素子  $A_i$  の変位を検出し、この検出変位量を目標変位設定部 11 が出力した目標変位量と一致するようにサーボ制御部 52 は閉ループ制御を行う（手順 63）。

#### 【0067】

検出変位量と目標変位量との誤差信号  $\epsilon$  の絶対値が所定値  $\alpha$  となり、かつ誤差信号  $\epsilon$  の時間微分値  $\Delta \epsilon / \Delta t$  の絶対値が所定値  $\beta$  以下になった場合にはサーボ制御部 52 は制御が収束したと判断し（手順 64）、サーボ制御部 52 はその時

点における電圧値  $V_L$ 、 $V_R$  の指令値を電圧値ホールド部 53 に出力する。電圧値ホールド部 53 はこの電圧値  $V_L$ 、 $V_R$  の指令値を駆動素子  $A_i$  に対する指令値  $V_{Li}$ 、 $V_{Ri}$  として保持する（手順 65）。また、切り替え部 7 は駆動素子  $A_i$  の接続先を変位検出部 6 から電圧値ホールド部 53 に切り替える（手順 66）。これにより、駆動素子  $A_i$  に対する閉ループ制御から開ループ制御への切り替えが完了し、次の駆動素子  $A_{i+1}$  の閉ループ制御に移行する（手順 67）。 $n$  番目の駆動素子  $A_n$  の閉ループ制御が完了する（手順 68）と間欠閉ループ制御ルーチンは一巡する。

#### 【0068】

この間欠閉ループ制御ルーチンは少なくとも目標変位設定部 11 の出力値が更新された場合には必ず実行され、駆動素子  $A_1 \sim A_n$  は所望の姿勢に制御される。あるいは常時定期的にこのルーチンを実行してもよい。

#### 【0069】

以上説明したような本実施形態のマイクロアクチュエータによれば、切り替え部 7 が 1 つの変位検出部 6 およびサーボ制御部 52 を複数の駆動素子に切り替えて巡回させながら閉ループ制御を行い、制御が収束した駆動素子はその状態を保持する開ループ制御を行うため、多数の駆動素子を備えたアクチュエータであっても、変位検出のための検出信号発生器、増幅器、A/D変換器などの数を大幅に低減させることができ、回路規模を削減してチップコストを削減することができる。

#### 【0070】

##### 【発明の効果】

以上述べたように本発明のマイクロアクチュエータによれば、駆動信号に変位検出信号を重畳し、自己の駆動力で得られた変位量を自己検出する構成を備えているために、外部の変位測定器が不要であり、極めて簡易に個別の駆動素子の変位を検出することができる。

#### 【0071】

また、駆動素子の目標変位を駆動信号に変換する変換データを変位検出手段の出力に基づいて作成する変換データ作成手段を備えているために、装置に組み込

まれた状態で変換データの更新が可能であり、径時変化や温度などの環境変化に伴う駆動素子特性の変化に対応することができる。

#### 【0072】

また、駆動信号の電圧値を大きく設定した場合に変位検出信号の振幅を小さく設定しているために、変位検出信号による駆動素子の変位への影響を抑えつつ検出感度を大きくすると共に、同じ電源電圧に対して駆動素子の測定可能な変位のレンジを広くとることができる。

#### 【0073】

また、切り替え手段が、変位検出手段の変位検出対象を複数の駆動素子から切り替えながら変位検出を行っているために、複数の駆動素子を備えたアクチュエータであっても、変位検出のための回路を削減してチップコストを低減することができる。

#### 【0074】

また、駆動素子の閉ループ制御を行う閉ループ制御手段と、閉ループ制御手段が出力する駆動信号をホールドするホールド手段とを備え、切り替え手段が駆動素子の接続先を閉ループ制御手段とホールド手段との間で切り替えるため、多数の駆動素子を備えたアクチュエータであっても、変位検出および閉ループ制御のための回路を削減してチップコストを低減することができる。

#### 【0075】

また、複数の駆動素子を同時に1つの変位検出部手段に接続しているために、個々の駆動素子のばらつきが平均化されて全体特性の変化を測る場合には精度の良い測定を行うことができる。

#### 【0076】

また、こうした自己変位検出機能をもつマイクロアクチュエータを可変形ミラーに用いることにより、簡易な構成で、径時・環境変化に対する信頼性が高い光制御を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

本発明の実施の形態1におけるマイクロアクチュエータの概略構成図

## 【図 2】

本発明の実施の形態 1 におけるマイクロアクチュエータの駆動回路の概略構成

図

## 【図 3】

本発明の実施の形態 1 における変換データ作成ルーチンのフローチャート

## 【図 4】

本発明の実施の形態 2 におけるマイクロアクチュエータの概略構成図

## 【図 5】

本発明の実施の形態 2 における間欠閉ループ制御ルーチンのフローチャート

## 【符号の説明】

- 1 基板
- 2 駆動回路
- 3 絶縁層
- 4 駆動部
- A1～An 駆動素子
- 5, 50 制御部
- 6 変位検出部
- 7 切り替え部
- 10 I/F 部
- 11 目標変位設定部
- 12 変換部
- 13, 51 電圧指令部
- 14 変位検出制御部
- 15 変換データ作成部
- 20, 22 駆動信号発生部
- 21, 23 変位検出信号発生部
- 24 オペアンプ
- 25 コンデンサ
- 26 トランジスタ



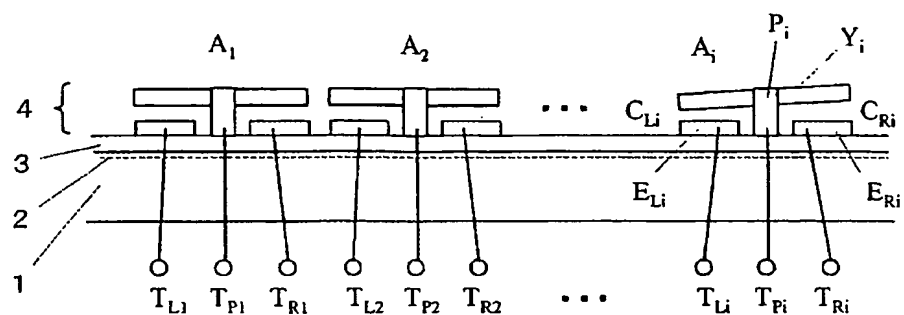
- 27 増幅器
- 28 AD変換器
- 52 サーボ制御部
- 53 電圧値ホールド部



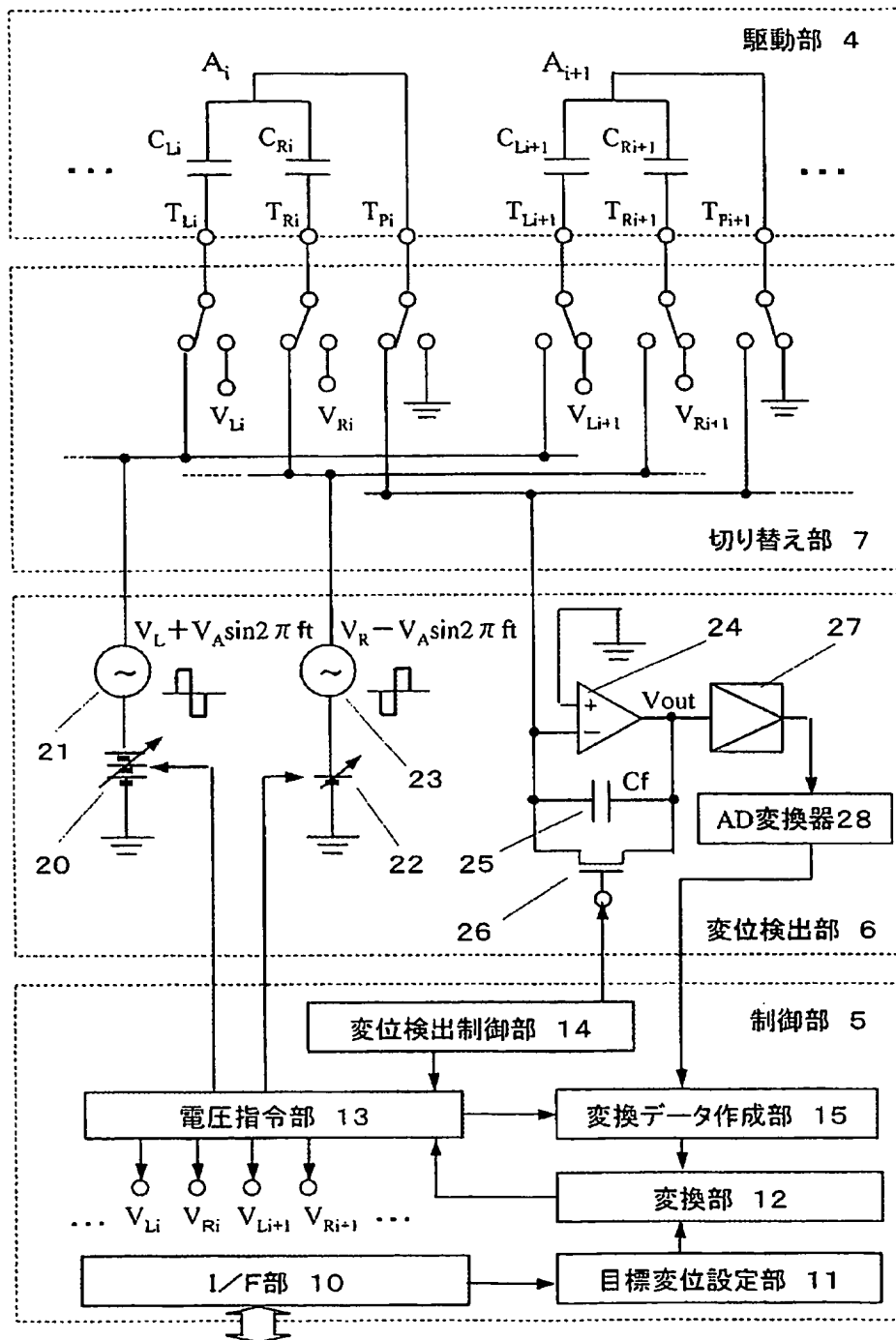
【書類名】

図面

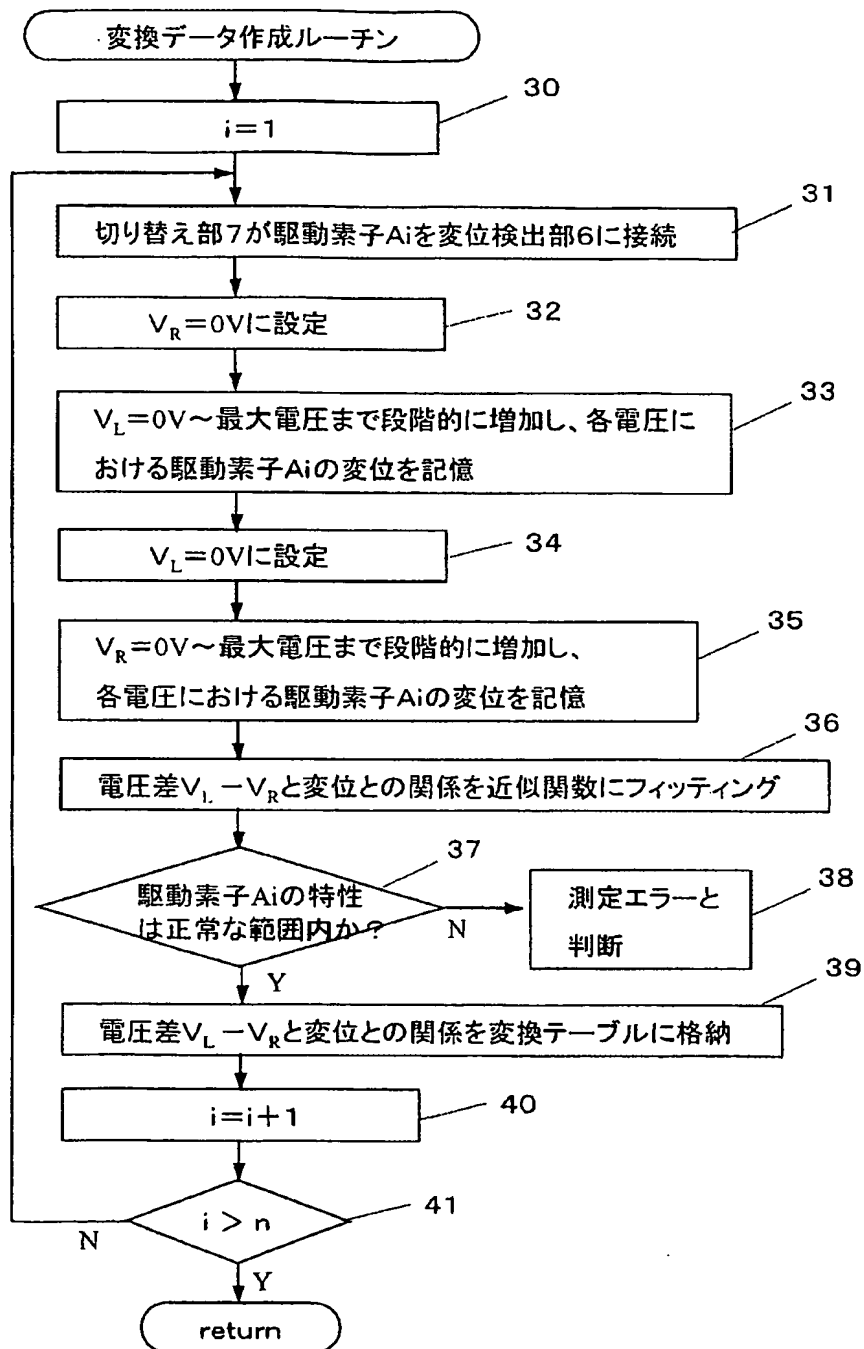
【図 1】



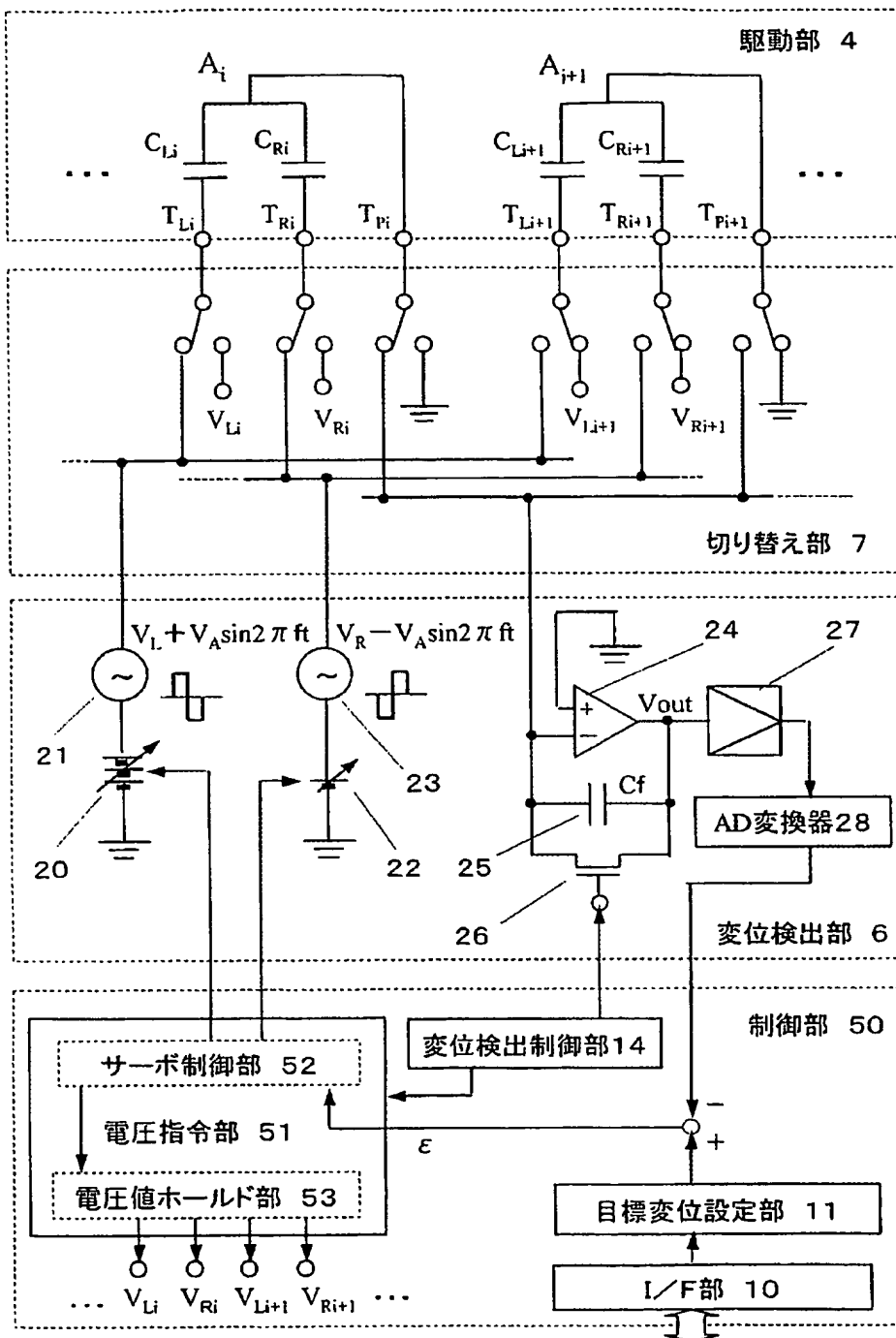
【図2】



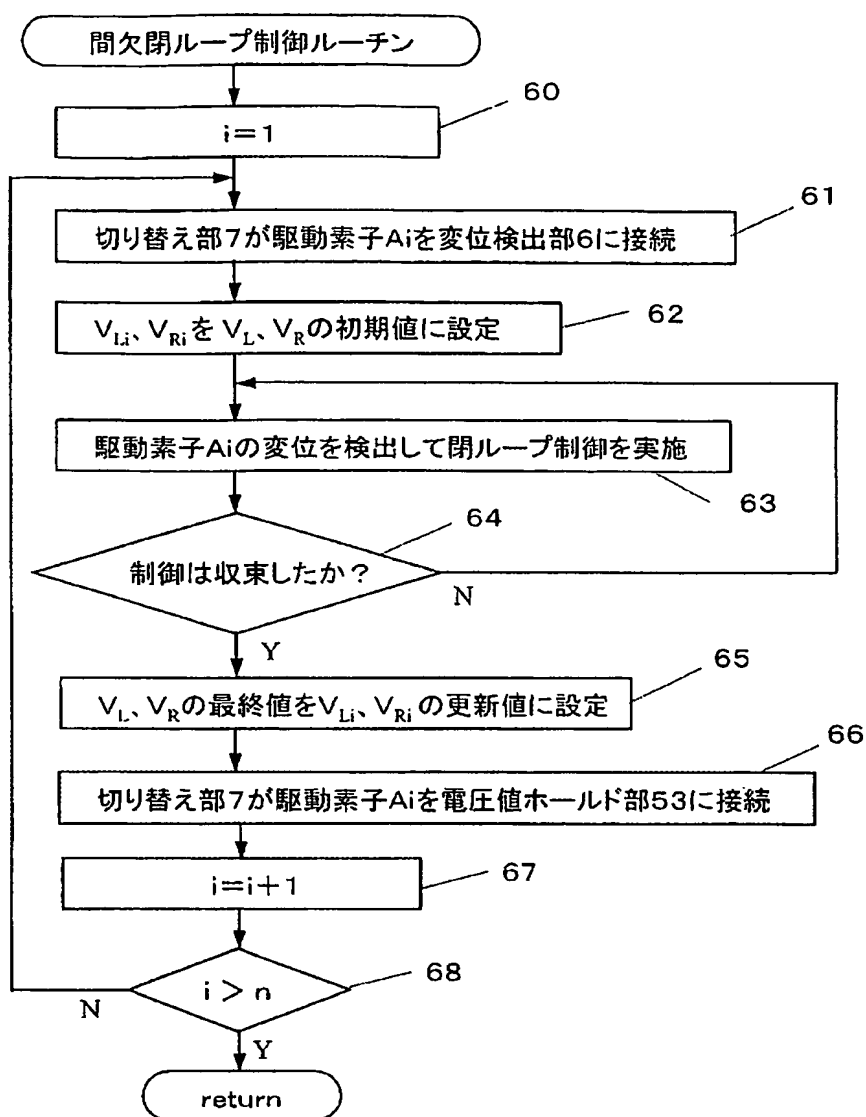
【図3】



【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 簡易な構成で、径時・環境変化に対する特性ばらつきを補正して信頼性の高い位置制御を行うマイクロアクチュエータおよび可変形ミラーを提供する。

【解決手段】 基板上に設けた固定電極と、変位可能に支持された可動電極との間に駆動信号を与えて前記駆動素子を複数段階に変位させる駆動手段と、前記駆動信号に変位検出信号を重畳し、前記固定電極と前記可動電極との間の静電容量の変化によって前記駆動素子の変位を検出する変位検出手段とを備える。

【選択図】 図 2



特願 2002-322247

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000005821]

1. 変更年月日

1990年 8月28日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真1006番地

氏 名

松下電器産業株式会社